

На правах рукописи



Комиссарчук Сергей Юрьевич

Автоматизация процесса разделения
горячих стальных заготовок в металлургических агрегатах
с роторными пилами.

Специальность

05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2011

Работа выполнена в ЗАО «ИНКОММЕТ», г. Москва, Россия.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Синицкий Владимир Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Гаврюшин Сергей Сергеевич

кандидат технических наук
Кареев Сергей Михайлович

Ведущая организация: Московский государственный
индустриальный университет
(ФГБОУ ВПО «МГИУ»)

Защита диссертации состоится “21” 03 2012 г. в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направить по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э.Баумана. Телефон для справок: (499) 267-09-63

Автореферат разослан “09” 04 2012 г.



Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент

Михайлов В.П.

2481

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Начиная с конца прошлого столетия, в металлургии для резки горячих стальных заготовок крупного сечения получили распространение роторные пилы. Разработана серия пил двух типов РР и РЗ с диаметрами пильных дисков 1200 - 3200 мм. Обладая уникальными техническими характеристиками (время реза - доли секунды), они получили признание в России и за рубежом. Работы по созданию оборудования агрегатов резки до 1995 года проводились во ВНИИМЕТМАШ, позднее в ЗАО «ИНКОММЕТ», выделившееся в 1994 году из состава ВНИИМЕТМАШ в самостоятельную организацию, где при непосредственном участии автора выполнен ряд работ по совершенствованию агрегатов резки заготовок с роторными пилами.

Агрегаты резки с роторными пилами (более 30) успешно эксплуатируются на заводах РФ – ВТЗ (г. Волжский), «Мотовилихинские заводы» (г. Пермь), ВМЗ «Красный Октябрь» (г. Волгоград) и др., и за рубежом в Японии – Sumitomo (г. Wakayama), США – Nord Star (г. Youngstown, Ohio) и др. Разработано и освоено на отечественном предприятии – ЗАО «ЛАЗТЕХ» (г. Волжский) производство пильных дисков диаметром до 3200 мм повышенной стойкости на основе лазерных технологий. Актуальность работ по автоматизации технологического процесса резки заготовок, снижения эксплуатационных затрат, повышения качества реза, надежности и безопасности эксплуатации подтверждается имеющимися в ИНКОММЕТ запросами и хозяйственными договорами.

В предыдущих работах расчет кинематических параметров роторной пилы выполнялся с использованием дифференциальных уравнений движения, решение которых затруднительно в АСУТП при малых тактах управления. Актуальным является упрощение расчетов и разработка метода компьютерного анализа кинематических и энергосиловых связей системы «заготовка – инструмент – машина» для решения задач автоматизации.

Контроль состояния инструмента осуществляется оператором. Актуальным является автоматизация контроля непосредственно при резе.

Качество инструмента, его стойкость, оказывают решающее влияние на технологический процесс разделения заготовок. Ранее пильные диски большого диаметра изготавливались методом механообработки, с использованием профильных фрез. После внедрения лазерных технологий в технологический процесс изготовления дисков большого диаметра не был исследован эффект поверхностного упрочнения кромок зубьев и впадин, являющийся следствием лазерной резки.

Существующие методы статической балансировки дисков большого диаметра связаны с операциями перевалки дисков из горизонтальной в вертикальную плоскость и наличием человеческого фактора в оценке степени сбалансированности. Целесообразным является автоматизация операций балансировки для повышения ее эффективности и минимизации эксплуатационных затрат технологического лазерного комплекса.

Цель работы

Повышение уровня автоматизации процесса разделения горячих стальных заготовок крупного сечения, включая контроль и управление технологическими режимами резания и изготовления режущего инструмента, обеспечивающих повышение технологических характеристик и экономическую эффективность агрегатов резки и взаимосвязь с АСУ верхнего уровня.

Методы исследований и достоверность результатов

Методологической основой работы является системный подход и компьютерный анализ связей «заготовка – инструмент – машина» технологического процесса разделения заготовок на мерные длины как основа построения АСУТП агрегатов резки и взаимодействия с АСУП.

Методологической основой эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП является системно-ориентированное программирование как средство решения задач реального времени, организации баз данных, обеспечения достоверности, защиты и резервирования.

Достоверность результатов исследований подтверждается их успешным внедрением в промышленности.

Автор защищает:

1. Обоснование состава программных и технических средств, схемные решения построения АСУТП разделения заготовок роторными пилами, включая структурирование функций микропроцессорных контроллеров (МК) и программного обеспечения (ПО) для решения задач жесткого реального времени, обеспечивающих высокую надежность и требуемое быстродействие, а также взаимодействие с АСУ верхнего уровня.

2. Способ компьютерного анализа кинематических и энергосиловых связей в системе «пила - режущий диск - заготовка - вспомогательное оборудование» и специальное ПО, как средство повышения эффективности разработки и модернизации АСУ, обеспечивающее выбор рациональных энергосиловых параметров и моментов подачи команд САУ исполнительными механизмами агрегата, а также контроль степени износа пильного диска и качество реза.

3. Новую структуру АСУ роторной пилы с рациональным распределением маховых масс в аккумуляторном приводе режущего диска во взаимосвязи с АСУТП агрегата резки, позволяющую снизить энергоемкость процесса резания, сократить время цикла, а также формировать управляющие воздействия на приводы и контролировать состояние режущего инструмента по показаниям управляющих устройств АСУТП с тактом от 0,001 с.

4. Технологические режимы и АСУТП обработки пильных дисков большого диаметра, включая обработку режущего профиля и автоматическую балансировку дисков в едином технологическом лазерном комплексе.

Научная новизна

1. Разработан компьютерный метод анализа кинематических и энергосиловых параметров системы «заготовка - инструмент - машина» в

агрегатах резки заготовок с роторными пилами по фазам исполнения процесса разделения заготовок, учитывающий взаимодействие элементов системы.

2. Разработаны принципы построения систем управления приводами АСУ роторной пилы с новой рациональной схемой и тактом управления от 0,001 с, структура и программные средства управляющих МК.

3. Впервые в составе АСУ роторной пилы разработана подсистема определения состояния режущих свойств дисков и качества реза с тактом от 0,001 с непосредственно во время реза продолжительностью до 0,5 с.

4. Для агрегатов резки заготовок определены и обоснованы состав программных и технических средств, методы построения АСУТП, взаимодействия с АСУ верхнего уровня и построения распространенных систем, настройки и обслуживания МК без остановки АСУТП, организации человека - машинного интерфейса, интегрирования в SCADA и другие системы.

5. Установлены параметры поверхностного упрочнения при лазерной резке дисков диаметром 2500 мм толщиной 12 мм из сталей 51CrV4 и 75X с уточнением толщин послышной твердости от ~70 до ~25 HRC и ее зависимости для режущей кромки зуба от направления обхода вырезаемого контура. Отмечено, что при обходе вершины зуба лазерным лучом по кругу вершины зуба происходит двойной высокотемпературный нагрев и образуется местная зона разупрочнения: при движении вдоль направления резания - на задней режущей грани, в противоположном направлении - на передней.

6. Разработаны и обоснованы новый способ и АСУТП балансировки пильных дисков большого диаметра, использующий для определения дисбаланса весовые датчики, при горизонтальном расположении диска и возможностью его вращения со скоростью ~1 Гц на отдельной позиции технологического лазерного комплекса. Для определения дисбаланса предложен метод решения физических уравнений в момент равновесия показаний противостоящих датчиков.

Практическая ценность и реализация результатов работы

В работе предложены новые научно-технические решения построения АСУТП агрегатов резки, обеспечивающие энергосбережение и существенное снижение эксплуатационных расходов, высокую надежность и быстродействие систем автоматики с МК и ПО отечественной разработки, не требующих специального лицензирования и позволяющих производить операции настройки без остановки технологического процесса.

Основные принципы построения АСУТП агрегатов резки с роторными пилами были использованы и реализованы на разных этапах проектирования, наладки и сопровождения эксплуатации следующих объектов: агрегаты резки РЗ-2500 ВТЗ, РР-2500 ВМЗ «Красный Октябрь», РЗ-3200 «Мотовилихинские заводы», РЗ-2500 Sumitomo, РЗ-2500 Nord Star, техпредложения на поставку РЗ-2800 КПЦ ВМЗ (г. Выкса), РЗ-2500 СПЦ МЗ им. Серова (г. Серов), РЗ-1200 «КазФерроСталь» (Казахстан, г. Алма-Ата).

Технологический лазерный комплекс с автоматической балансировкой дисков диаметром до 3200 мм внедрен в эксплуатацию в 2009 году на

предприятия ЗАО «ЛАЗТЕХ», где в промышленных масштабах производятся пильные диски. Пильные диски диаметром 2500 мм, изготовленные на этом комплексе с использованием результатов настоящей работы, успешно эксплуатируются на ВМЗ «Красный Октябрь» и ВТЗ. Стойкость дисков повысилась в 2-3 раза и достигает 4000-4500 резов на заготовке диаметром 410 мм вместо ранее нормируемых 700-1000 резов на круге диаметром 320 мм.

Апробация работы

1. Участие в 5 международных выставках “Передовые технологии автоматизации” и “Автоматизация ПТА-2005, ПТА-2006, ПТА-2007, ПТА-2008, г.Москва; ПТА-Северо-Запад 2005, г.Санкт-Петербург.

2. Международные семинары-презентации и выставки №№ 30, 31 и 32 “Автоматизация. Программно-технические средства. Системы. Применения” ИПУ РАН, г. Москва, 2006, 2007 и 2008 г.

3. Участие в 16 научных сессиях и конференциях «Научная сессия МИФИ» и “Телекоммуникации и новые информационные технологии в системе лицей - ВУЗ”.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 10 статьях, опубликованных в российских научных журналах, рекомендованных ВАК.

Свидетельства РОСПАТЕНТА. По теме диссертации получены 12 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, 2 патента на полезную модель, 1 патент на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы. Работа выполнена на 139 страницах машинописного текста, содержит 62 рисунка и 4 таблицы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность работы, ее цель, научная новизна, определены задачи, методы и объекты исследований.

В первой главе проведен анализ схемных решений АСУТП разделения горячих стальных заготовок крупного сечения на мерные длины. Определены состав оборудования и последовательность технологических операций на примере действующих и вновь проектируемых. Проанализированы механические способы разделения горячих стальных заготовок – ножницами и пилами. Преимущество отдано роторным пилам, разработанным в России и отличающихся компактностью, высокой производительностью (время реза заготовки диаметром 500 мм - доли секунды) и минимальным искажением профиля разрезаемых заготовок. Обладая уникальными техническими характеристиками, они получили признание в России и за рубежом.

Исследования в области технологий, оборудования и АСУТП разделения горячих стальных заготовок крупного сечения базируются на трудах А.И.Целикова, Н.И.Крылова, Н.Н.Дружинина, Н.Н.Зорева, Т.Н.Лоладзе, Ю.С.Комиссарчука, Ю.Е.Кима, Н.М.Баранова и др.

Работы по совершенствованию агрегатов резки с роторными пилами велись во ВНИИМЕТМАШ, а затем в ЗАО «ИНКОММЕТ», где при

непосредственном участии автора выполнен ряд работ по совершенствованию агрегатов резки заготовок роторными пилами и обработки пильных дисков.

На примерах разных предприятий показана идентичность технических решений, применяемых в агрегатах резки для цехов различных типов. Отмечено, что в большинстве известных агрегатов система автоматики построена на релейно-контакторной схеме, не обеспечивающей достаточного быстродействия и гибкости настроек параметров. Установлено, что при времени реза, составляющем доли секунды, важными факторами для оценки эффективности процесса являются кинематические и энергосиловые параметры взаимосвязи системы «заготовка - инструмент - машина». Определено, что качество и стойкость режущего инструмента являются главным фактором для оценки эффективности использования пил. Обоснована необходимость применения современных технологических лазерных комплексов для изготовления дисков, а также необходимость автоматизации операций их балансировки. Рассмотрены конструктивные схемы рабочего механизма пилы РЗ, взаимодействия диска пилы и заготовки во время процесса резания, действия усилий на зуб пилы при резе. Установлено, что распределение маховых масс важно для построения АСУТП и решения задач снижения энергоемкости процесса.

Во второй главе рассмотрены методы построения АСУТП агрегатов резки заготовок и основные решения по его реализации.

Определены и обоснованы программные и технические средств АСУ роторной пилы с новой рациональной схемой приводов и управляющими МК, определяющими конкретные значения кинематических и энергосиловых параметров по фазам реза с тактом от 0,001 с и временем реза до 0,5 с для передачи в АСУТП агрегата резки и обеспечивающие снижение энергоемкости процесса и сокращение времени технологического цикла. Снижение момента инерции вращения водила за счет использования новой схемы рабочего пилы позволяет снизить установленную мощность приводов и разработать рациональную структуру АСУ. На новую роторную пилу (рис. 1) получен патент на изобретение РФ (№ 2429951 с приоритетом от 01.04.2010).

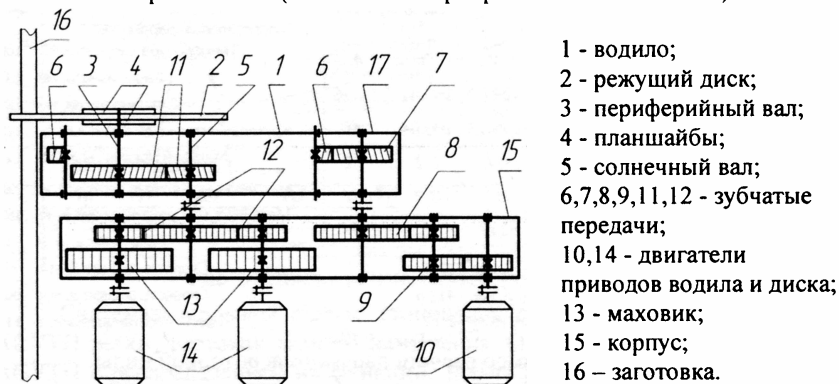
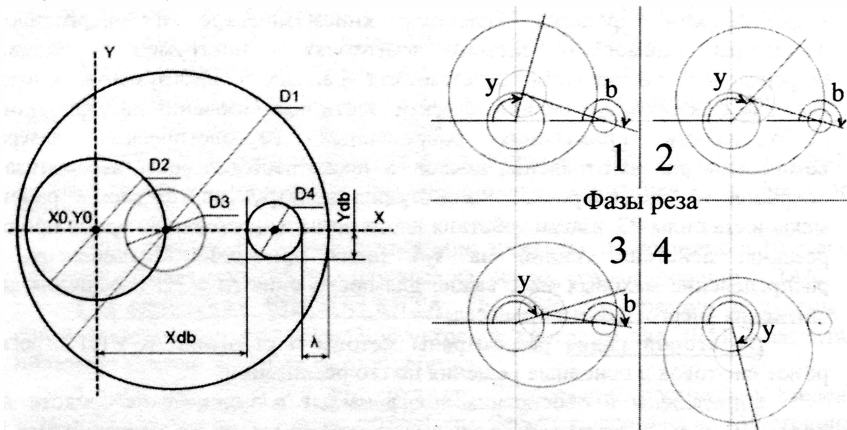


Рис. 1. Кинематическая схема новой роторной пилы

Разработан компьютерный метод анализа кинематических и энергосиловых параметров системы «заготовка – инструмент – машина» в агрегатах резки заготовок с учетом взаимодействия элементов системы по фазам исполнения процесса разделения заготовок, а также ПО расчета параметров роторной пилы для передачи в АСУТП данных по рациональному выбору команд исполнения заданного цикла (см. рис. 2).

Отмечено, что взаимное расположение оборудования агрегата определяют эффективность процесса и качество резания.



Геометрические и кинематические параметры

Диаметр диска, D1, мм	2496.0	Фаза	1	2	3
Диаметр водила, D2, мм	960.0	Скорость вращения диска, Ns, об/с	12.75	12.19	10.94
Диаметр планшайбы, D3, мм	1300.0	Окружная скорость диска, Vs, м/с	100.00	95.60	85.80
Диаметр заготовки, D4, мм	410.0	Скорость вращения водила, Nd, об/с	0.41	0.30	0.17
Расстояние, Xdb, мм	1280.0	Окружная скорость водила, Vd, м/с	1.23	0.90	0.50
Расстояние Ydb, мм	-190.0				
Шаг зубьев диска, Pt, мм	80.0				

Вращение водила	по часовой				Расчет	Подставить расчетные данные	Да
Результаты	Фаза	1	2	3	4	Энергосиловые параметры	
	Угол γ , °	102.58	129.63	160.42	256.26	Температура заготовки, °C	1000.0
	Угол резания β , °	198.19	196.75	188.04	0.0	Фаска износа, мм	5.0
	Скорость подачи, м/с	1.2	0.8	0.2	-1.2	Толщина диска, мм	12.0
	Толщина стружки, мм	1.0	0.7	0.2	0.0	Крутящий момент двигателя, кг.см	415.0
	Время, мс	0	217	753	2574	Маховой момент, кг.кв.см	11787.0
	Прохват, λ , мм	37.9				Максимальное усилие на зуб, Т, кг	2281.3
Максимальная длина дуги резания, а, мм	411.9					Максимальное усилие на зуб R, кг	1836.2
Площадь стружки, кв.м	0.13					Работа реза, кг.м	212022.0
						Скорость в фазе 2, м/с	95.6
						Скорость в фазе 3, м/с	86.0
						Время восстановления, с	11.6

Рис. 2. Пример расчета параметров роторной пилы

ПО позволяет, задавая параметры роторной пилы: диаметры водила, диска и заготовки, относительные координаты центра вращения водила и центра заготовки, получить углы поворота водила, соответствующие: началу реза, максимальной дуге контакта диска с заготовкой, окончанию реза, выходу диска из контакта с заготовкой, и соответствующие значения энергосиловых параметров. ПО выполнено в автономном варианте (включающем средства визуализации технологического цикла реза) для ПЭВМ и в варианте для управляющего МК АСУТП. Это позволило выбрать рациональные параметры системы под конкретные задачи агрегата резки, определить в АСУТП моменты подачи управляющих воздействий на приводы, реализовать контроль усилий резания и нагрузок на проводы в технологическом цикле реза.

При расчете параметров сначала выполняется кинематический расчет без учета просадки скорости вращения диска, по нему проводится расчет энергосиловых параметров, которые дают расчетную просадку скорости вращения диска для повторного кинематического расчета.

Алгоритм работы АСУ роторной пилы определяется обобщенной циклограммой реза, приведенной на рис. 3.

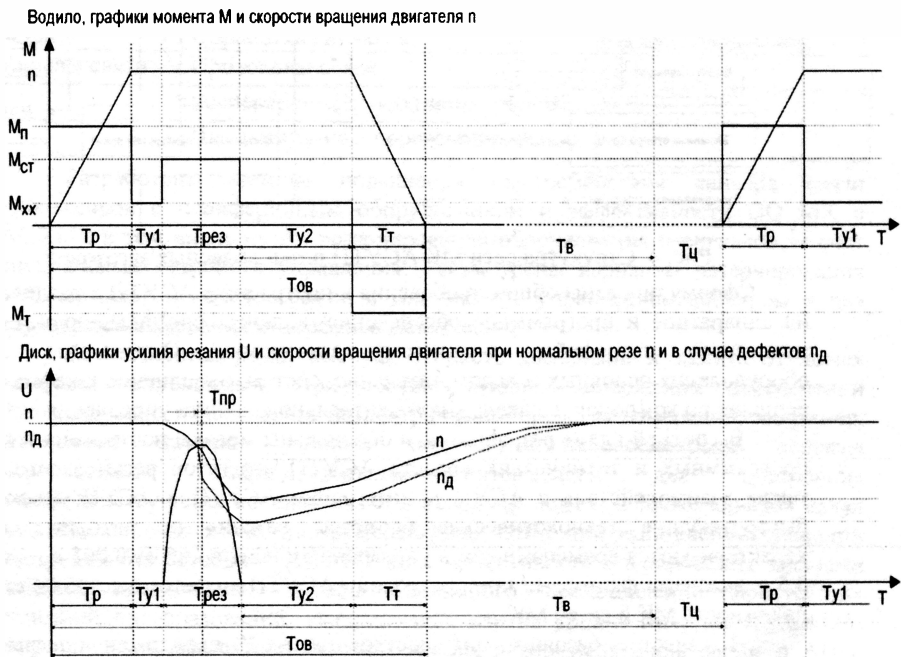


Рис. 3. Циклограмма работы роторной пилы

Систематизированы схемы компоновки оборудования и требований к АСУТП резки заготовок разного назначения. Определена структура сети МК АСУТП с распределением их функций. Задача раскроя заготовки решена при помощи предварительного взвешивания (рис. 4).

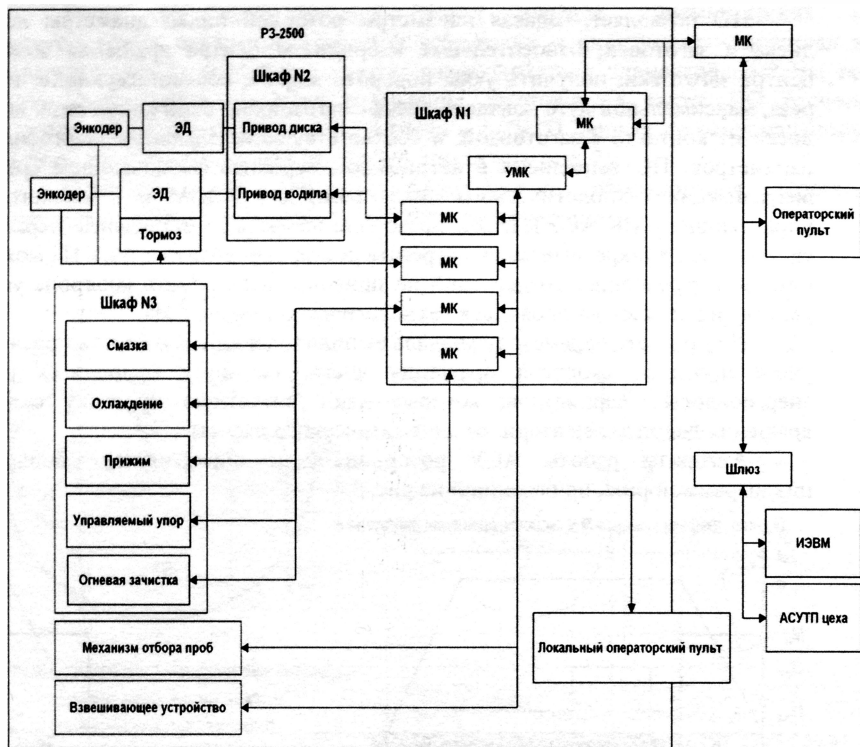


Рис. 4. Структура сети МК АСУТП резки колесных заготовок

Сформулированы общие требования к построению АСУТП с разделением на аппаратное и программное обеспечение, включая организацию человеко-машинного интерфейса и систему автоматики. Определены состав оборудования основных и вспомогательных систем, наполнение шкафов САУ, решения по компоновке локальных и центрального пульта управления.

В третьей главе разработаны и обоснованы методы построения и состав программных и технических средств АСУТП агрегатов резки заготовок, а также взаимодействия с АСУП и интеграции АСУТП в АСУП. Поскольку быстротекущие технологические процессы резания на роторных пилах характеризуются временами такта управления и измерений от 0,001 с и реза до 0,5 с, важными факторами при построении АСУТП является быстродействие и надежность МК и сетей МК.

В качестве базового для построения АСУ предложен программно-технический комплекс ПТК УМИКОН, созданный в ИНКОММЕТ при непосредственном участии автора, имеющий сертификат средств измерений RU.C.34.010.A № 10254 и разрешение Ростехнадзора № РРС 00-042703 для применения на опасных производствах. Программная и аппаратная части ПТК хорошо зарекомендовали себя в промышленности и могут использоваться в

АСУТП как совместно, так и независимо с оборудованием и SCADA сторонних производителей.

Наиболее известные внедрения АСУТП, включающих МК и ПО из состава ПТК УМИКОН, разработанного ИНКОММЕТ при непосредственном участии автора: в металлургии - Михайловский ГОК (г. Железногорск Курской обл.), НЛМК (г. Липецк), ММК (г. Магнитогорск); в атомной промышленности - СХК (г. Северск Томской обл.), ГКХ (г. Железногорск Красноярского края); в химической промышленности - ОАО «Каустик» (г. Волгоград); в городском хозяйстве Москвы - ОАО «Мосводоканал», Спорткомплекс «Олимпийский».

При решении задач автоматизации с помощью микропроцессорной техники решающую роль играют требования, классифицированные, как представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Классификация требований к МК в составе АСУТП

Аппаратное обеспечение:	Системное ПО:	Функциональное ПО:
Сигналы.	Ядро РВ.	Технологическое программирование.
Ядро.	Обработка сигналов.	Качество сигналов.
Каналы связи.	Протоколы связи.	
	Бесперебойное функционирование.	
	Настройка, перепрограммирование.	

Разработаны методы повышения быстродействия каналов связи процессоров с периферийным оборудованием и эффективности ПО МК в АСУТП, в том числе путем резервирования оборудования и сигналов за счет специальных устройств управления. Рассмотрены варианты резервирования МК, сигналов и каналов связи, в том числе с управлением арбитражем и для случаев использования интерфейса EtherNet.

Для агрегатов резки высокая скорость измерений и защита от помех являются актуальными. При соответствующем аппаратном обеспечении рекомендовано использовать неэлектрические средства измерений, например, оптические датчики угловых перемещений. Рассмотрены аспекты использования последовательных интерфейсов для построения быстродействующих каналов связи в условиях помех, а также каналов связи для подключения к МК инструментальных ЭВМ при выполнении операций настройки без остановки АСУТП. Для эффективного оперирования задачами АСУТП предложены способы табличного представлений простейших описаний преобразований, выполняемых как на уровне МК, так и SCADA. Отмечено, что эффективность встроенных алгоритмов фильтрации в АЦП, выполненных в виде отдельных интегральных микросхем, порой сводится к получению среднеарифметического за определенное время. Достаточный объем данных для фильтрации может быть получен методом конвейерной обработки, а результаты помещаются в структурированную базу данных.

В качестве ядра МК используются однокристальные микропроцессоры, например, ARM7. Наличие каналов прямого доступа к памяти в архитектуре ARM позволяет строить конвейерную обработку данных и напрямую влияет на эффективность ПО МК и соблюдение режимов жесткого реального времени (ЖРВ) с высокой точностью поддержания такта системы.

Системное ПО МК в составе АСТУП применяется комплексно с аппаратным обеспечением. В базе данных МК, общей для всех модулей ПО, структуры, относящиеся к отдельным входным или выходным сигналам, не являются тэгами, а представляют собой векторы, размер которых определяется количеством сигналов данного типа. При этом ПО выполняет обработку векторов простейших данных, а не векторов структур. Принцип векторной обработки конкурирует с принципами объектно-ориентированного программирования, функционирующего на мощных процессорах. Разработано ПО ведения базы данных, содержащей входные - выходные сигналы, расчетные, настроечные, справочные и иные переменные, используемые в режиме доступа к общей памяти, результатом является заголовочный файл, используемый на этапе компиляции и сборки.

Принцип векторного построения базы данных с разделением по типам распространен на сетевое взаимодействие. При этом, например, узел сети Ethernet, обладающий определенным набором входных данных, может передавать их в сеть в широкополосном режиме с упаковкой в пакеты данных одинакового типа, и не требует установления сеанса связи. Аналогично могут передаваться управляющие данные от SCADA к узлам сети и построены конвейеры. Определены методы реализации ведения архивов средствами МК, локальный либо удаленный доступ к файлам архивов, а также роль ПО ядра реального времени (РВ) для обеспечения функционирования задач ПО МК в режимах РВ или ЖРВ.

Сформулирован принцип постоянной максимальной рабочей нагрузки на алгоритмы обработки сигналов и каналы связи (в противовес событийной обработке), используемый при построении ядра РВ. При разработке ПО использован метод планирования эксперимента с учетом не моделируемых факторов. Разработаны ПО оценки производительности и метод присоединения качества к данным АСУТП при их обработке или хранении и пересылке по каналам связи. Для повышения эффективности сетевого обмена в АСУТП выполнено расширение протокола MODBUS RTU

Рассмотрены технологии сетевого взаимодействия. Детерминированная во времени дисциплина обслуживания при сетевом взаимодействии по каналам связи, основанная на технологии "мастер-слейв", упрощает определение состояния отказа целевого узла, поскольку в этом случае используется подсчет тайм-аута ответа как одно из свойств очереди запросов к узлу.

Разработаны алгоритмы синхронизации МК средствами групповых и широкополосных запросов, например, измерений, выполняемых разными МК в единой сети, и алгоритмы маршрутизации пакетов данных протокола MODBUS коммуникационными МК, при которой номер целевого узла заменяется при пересылке пакета через шлюз и восстанавливается в ответном

пакете перед передачей узлу, издавшему запрос, что позволяет упростить построение АСУТП с несколькими одинаковыми агрегатами.

Рассмотрены вопросы обеспечения бесперебойного функционирования ПО МК и реализации необходимых средств контроля, определены статистические параметры для контроля на этапе разработки ПО, разработана методика построения ПО МК с модульной перестраиваемой архитектурой ПО и использованием единого заголовочного файла на уровне компиляции и сборки ПО, что эффективно при настройке и наладке МК и АСУТП.

Разработано инструментальное ПО, позволяющее реализовать режим осциллограммы в оперативной памяти МК, средства вычисления быстрого преобразования Фурье и такие программные средства на ПЭВМ, как имитаторы самописцев и построители гистограмм. В агрегатах резки в виде осциллограмм могут быть получены, например, скорость подачи и вращения, позволяющие провести анализ эффективности работы роторной пилы на ходу.

Отмечено, что интегрированные значения величин суммарной просадки скорости вращения диски и загрузки привода вращения водила не отражают фактические максимальные значения за период времени реза и потому не дают возможности определить состояние диска и правильность режима работы роторной пилы. Задачу решают МК по мгновенному значению просадки скорости в момент прохождения дуги контакта диска с заготовкой.

Рассмотрены реализованные в составе ПТК УМИКОН средства инструментального сопровождения МК в АСУТП, включающиеся либо в состав SCADA, либо автономные. Разработано свободное (Open Source) ПО, распространяемое по лицензии GPL v.3, программы Mkstudio, Mkquery, Mkserver, Mksync, ftp и др. зарегистрированы в РОСПАТЕНТе.

Реализации в АСУТП человеко-машинного интерфейса решается МК, выполняющим простейшие функции SCADA, используя стандартный браузер на ПЭВМ для построения мнемосхем и диаграмм. МК при этом играет роль микро-сервера HTTP. Для построения интерфейса оператора АСУТП применен известный метод подстановки при создании html-страниц при помощи ПО сервера. Для управления данными с html-страниц используется javascript с применением встраиваемых фреймов. При реализации человеко-машинного интерфейса могут быть применены средства Google Chart, Google Visualization API либо иные. Предложенный метод построения АСУТП используется для интегрирования с АСУП.

Рассмотрены варианты реализаций системы технологического программирования с точки зрения применимости для достижения максимального быстродействия и надежности МК.

В четвертой главе разработаны технологические режимы и средства АСУТП для обработки пильных дисков диаметром до 3200 мм, реализованные в ЛАЗТЕХ на технологическом комплексе с 2D машиной лазерной резки Messer Griesheim Ortosec 3000 и лазером Rofin WR Triagon 3000 мощностью 3,2 кВт, защищенного патентом РФ № 72434 с приоритетом от 24.01.2008.

Для отработки режимов резания и анализа эффекта упрочнения поверхности режущего профиля при лазерной обработке проведены

металлографические исследования с участием ктн А.И.Плохих (МГТУ им. Баумана) на пильных дисках диаметром 2500 мм толщиной 12 мм для роторных пил горячей резки. В результате исследований фрагментов режущего профиля зубьев определены конкретные значения поверхностного упрочнения при лазерной резке сталей 51CrV4, 75X. Установлено, что структура поверхности состоит из трех слоев, первый, толщиной до 0,015 мм имеет микроструктуру быстро затвердевшего металла, второй, толщиной до 0,5 мм - структуру мартенсита с твердостью ~50 HRC, третий - исходную перлитную структурой твердостью ~25 HRC (рис. 5).

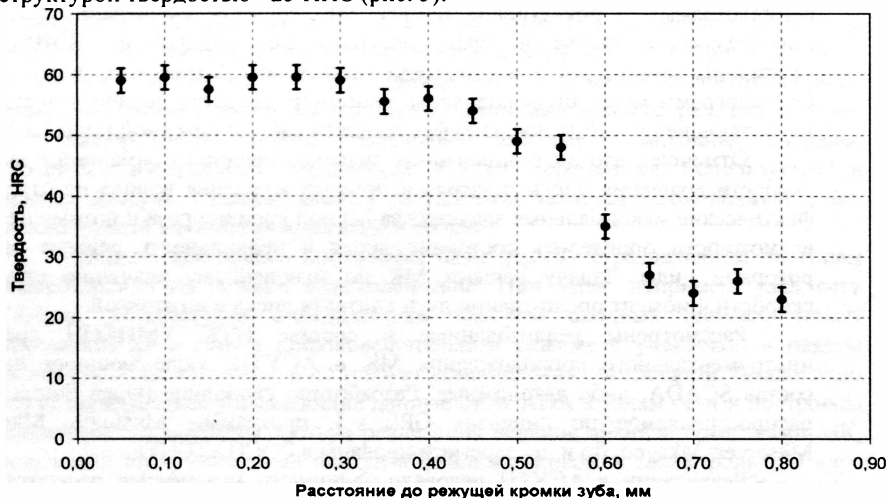


Рис. 5. Зависимость твердости от расстояния до режущей кромки зуба

Также установлено, что на поверхностную закалку оказывает влияние направление обхода вырезаемого контура. При обходе вершины зуба лазерным лучом по кругу со стороны передней грани зуба происходит двойной высокотемпературный нагрев, мартенсит, образовавшийся при первом нагреве, перекристаллизуется, образуя местную зону разупрочнения. При обратном обходе контура происходит разупрочнение задней грани зуба. Отмечено, что направление траектории обработки профиля следует учитывать при изготовлении дисков разного назначения.

Листовые заготовки для дисков имеют разнотолщинность и неплоскостность, наследованные после прокатки и не имеющие системного характера. При использующейся на пилах повсеместно статической балансировке диск на валу с подшипниковыми опорами устанавливается вертикально. Вращая вручную диск и навешивая грузы, добиваются остановки диска в произвольном положении. По весу грузов определяют величину технологических отверстий, высверливаемых для устранения дисбаланса. Операции балансировки связаны с перевалкой диска из горизонтальной в вертикальную плоскость, а результат зависит от квалификации оператора.

В работе предложен и обоснован новый способ балансировки пыльных дисков большого диаметра, использующий для автоматического определения дисбаланса весовые датчики при малой (до 1 Гц) скорости вращения диска в горизонтальной плоскости. Операции балансировки производятся автоматически и полностью исключают применение ручного труда и влияние человеческого фактора на точность балансировки. Диск с позиции резки перемещается на позицию балансировки и в горизонтальном положении устанавливается на планшайбу, вращающуюся в подшипниковых опорах со встроенными весовыми датчиками. Автоматизированная система фиксирует фактический дисбаланс и рассчитывает диаметр и количество и местоположение отверстий, необходимых для устранения дисбаланса в соответствии с заданными допусками. Портал лазера перемещается к указанной системой точке и вырезает требуемое отверстие. В соответствии с технологическими требованиями к роторным пилам и ГОСТ ИСО 1940-1-2007 класс точности балансировки должен быть не ниже 4.

Расчетная схема балансировочного стенда представлена на рис. 6 и 7. Предложен метод решения физических уравнений в момент равновесия показаний противостоящих датчиков.

МК в составе комплекса обеспечивают синхронный запуск измерений по сигналу от центрального МК, выполнение измерений с заданной скоростью, усреднение и фильтрация данных за заданный период для подавление помех от частоты питающей сети, преобразование полученных электрических величин в физические (вес в кг), передачу данных центральному МК. АСУТП балансировки выполняет калибровку системы без диска, статическую балансировку диска и в режиме вращения с заданным набором скоростей, расчет дисбаланса, формирование данных для ЧПУ лазерного комплекса.

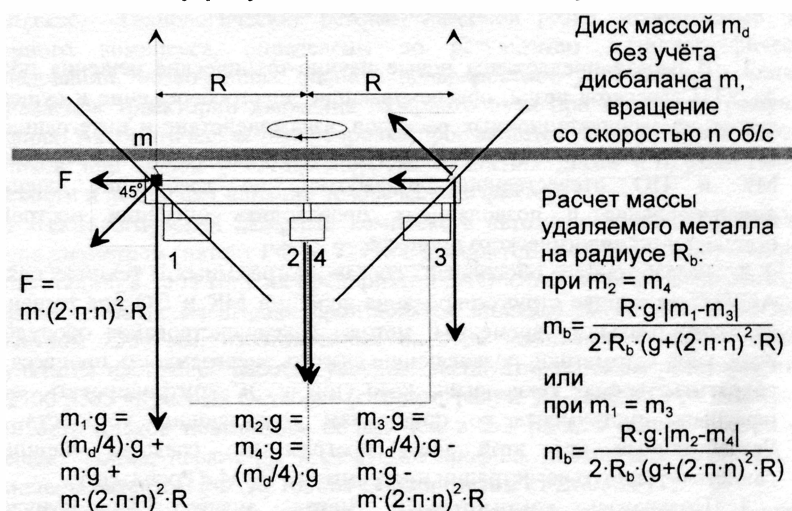


Рис. 6. Расчетная схема балансировочного стенда: физические уравнения



Рис. 7. Расчетная схема балансировочного стенда: условие симметрии

Диски, изготовленные по указанной технологии, прошли промышленные испытания на ВМЗ “Красный Октябрь” и ВТЗ. Стойкость диска до заточки увеличилась в 2-3 раза, а рабочий ресурс с учетом заточек и переточек на меньший диаметр вырос в 5-6 раз.

Форма, параметры и режущий профиль режущих дисков для роторных пил защищены патентом РФ (№ 105604 с приоритетом от 24.03.2011).

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. В работе предложены новые научно-технические решения построения АСУТП агрегатов резки, обеспечивающие энергосбережение и существенное снижение эксплуатационных расходов, взаимодействие и интеграцию в АСУ верхнего уровня, высокую надежность и быстрдействие систем автоматики с МК и ПО отечественной разработки, не требующих специального лицензирования и позволяющих производить операции настройки без остановки технологического процесса.

2. Разработаны и обоснованы состав программных и технических средств АСУТП на основе структурирования функций МК и ПО для решения задач жесткого реального времени и методы совершенствования оборудования и локальной автоматики, позволяющие снизить энергоемкость процесса резания, сократить время технологического цикла и контролировать состояние режущего инструмента по показаниям управляющих устройств АСУТП. Разработанные для этой цели программные средства защищены 12 свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте.

3. Предложен компьютерный метод анализа кинематических и энергосиловых параметров системы «заготовка – инструмент – машина» в

агрегатах резки заготовок с учетом взаимодействия элементов системы по фазам исполнения процесса разделения заготовок. Отмечено, что взаимное расположение оборудования агрегата определяют эффективность процесса и качество резания. Разработано ПО для передачи в АСУТП расчетных данных по рациональному выбору команд исполнения заданного цикла.

4. Определены и обоснованы программные и технические средств АСУ роторной пилы с новой рациональной схемой приводов и управляющими МК, определяющими конкретные значения кинематических и энергосиловых параметров по фазам реза с тактом от 0,001 с и временем реза до 0,5 с для передачи в АСУТП агрегата резки и обеспечивающие снижение энергоемкости процесса и сокращение времени технологического цикла.

5. Впервые в агрегатах резки заготовок роторными пилами предложено средствами АСУТП производить контроль состояния режущего диска и оценку качества реза по данным датчиков АСУ приводами пилы, получаемых непосредственно во время реза, с тактом измерений от 0,001 с и временем реза до 0,5 с.

6. Основные принципы построения АСУТП агрегатов резки с роторными пилами были использованы и реализованы на разных этапах проектирования, наладки и сопровождения эксплуатации следующих объектов: агрегаты резки РЗ-2500 ВТЗ, РР-2500 ВМЗ «Красный Октябрь», РЗ-3200 «Мотовилихинские заводы», РЗ-2500 Sumitomo, РЗ-2500 Nord Star, техпредложения на поставку РЗ-2800 КПЦ ВМЗ (г. Выкса), РЗ-2500 СПЦ МЗ им. Серова (г. Серов), РЗ-1200 «КазФерроСталь» (Казахстан, г. Алма-Ата).

7. Впервые разработан и реализован АСУТП обработки пильных дисков диаметром до 3200 мм, включающий лазерную резку контуров и автоматическую балансировку дисков в едином технологическом лазерном комплексе. Технологические режимы лазерной резки, исполняемые ЧПУ лазерного комплекса, определены по результатам металлографических исследований, позволивших оценить поверхностное упрочнение и влияние направления траектории движения лазерного луча при обработке режущего профиля. Автоматическая балансировка производится по показаниям весовых датчиков при малой (~1 Гц) скорости вращения диска в горизонтальной плоскости и исключает влияние человеческого фактора.

8. Технологический лазерный комплекс с автоматической балансировкой дисков диаметром (патент РФ № 72434 с приоритетом от 24.01.2008) внедрен в эксплуатацию в 2009 году на предприятии ЗАО «ЛАЗТЕХ» (г. Волжский), где в промышленных масштабах производятся пильные диски. Пильные диски диаметром 2500 мм, изготовленные на этом комплексе с использованием результатов настоящей работы, успешно эксплуатируются на роторных пилах РР-2500 ВМЗ «Красный Октябрь» (г. Волгоград) и РЗ-2500 ВТЗ (г. Волжский). Стойкость дисков повысилась более, чем в 2-3 раза, и общий ресурс - на порядок. Форма, параметры и режущий профиль дисков для роторных пил защищены патентом РФ (№ 105604 с приоритетом от 24.03.2011).

9. Предложенные в работе новые научно-технические решения обеспечивают энергосбережение путем снижения капитальных и

эксплуатационных затратах за счет использования современных средств автоматизации, увеличения стойкости инструмента при использовании лазерной резки для формирования режущего профиля и автоматической балансировки. Суммарная годовая экономия только на примере одного агрегата резки КПЦ ВМЗ (г. Выкса) составляет более 80 млн. руб.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Пила для резки проката: пат. 2429951 РФ / С.Ю. Комиссарчук [и др.]; заявл. 01.04.2010; опубл. 27.09.2011. Бюл. № 27.

2. Универсальный технологический комплекс производства режущих дисков большого диаметра с лазерной резкой и балансировкой: пат. на полезную модель 72434 РФ / С. Ю. Комиссарчук [и др.]; заявл. 24.01.2008; опубл. 20.04.2008. Бюлл. № 11.

3. Диск роторной пилы: пат. на полезную модель 105604 РФ / С.Ю. Комиссарчук [и др.]; заявл. 25.03.2011; опубл. 20.06.2011. Бюл. № 17.

4. Системно-ориентированное программирование как средство решения задач реального времени / В.А. Власов [и др.] // Промышленные АСУ и контроллеры. 1999. № 1. С. 17-21.

5. Программные средства построения АСУТП МИК\$Sys / В.А.Власов [и др.] // Приборы и системы управления. 1998. № 9. С. 32-37.

6. Обеспечение надежности АСУТП с использованием комплекса программных средств МИК\$Sys / В.А.Власов [и др.] // Промышленные АСУ и контроллеры. 1999. № 12. С. 27-29.

7. Основные концепции построения АСУТП на базе ПО МИК\$Sys / В.А.Власов [и др.] // Приборы и системы управления. 1999. № 8. С. 9-10.

8. Особенности организации сетевого обмена в АСУТП реального времени / В.А.Власов [и др.] // Промышленные АСУ и контроллеры. 1999. № 5. С. 38-39.

9. Построение надежных и производительных многоплатформенных АСУТП на базе комплекса ПО МикСис / В.А.Власов [и др.] // Промышленные АСУ и контроллеры. 2003. № 2. С. 29-32.

10. От комплекса МикСИС к ПТК УМИКОН. Особенности, внедрение, развитие / М.А. Коваленко [и др.] // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 5. С. 23-29.

11. Комиссарчук С.Ю., Лебедев В.О., Обносов А.В. Структура и основные особенности программного комплекса создания систем управления "МикСИС" ПТК "УМИКОН" // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 1. С. 35-41.

12. Универсальный электропривод / С.А. Байдали [и др.] // Черные металлы. 2008. № 11. С. 15-18.

13. Подсистема раннего обнаружения и устранения чрезвычайных ситуаций в реальном времени для АСУ экологически опасными технологическими процессами / В.А.Власов [и др.] // Приборы и системы управления. 1997. № 8. С. 28-29.